

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РОБОТА С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ

*Ботов М.Е.*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Ключевые слова:** робот, идентификация кинематических параметров, оптическая система слежения, калибровка кинематических параметров, повышение точности робота, система калибровки.

**Аннотация.** Точность позиционирования робота играет важную роль в промышленной автоматизации. В данной работе исследуются уже существующие методы повышения точности робота, а также предлагается метод с оптической следящей системой, включающий численный алгоритм наименьших квадратов для идентификации кинематических параметров и составляется конфигурация и схема интеграции системы в робота.

## RESEARCH OF INCREASING ACCURACY OF A ROBOT USING AN OPTICAL TRACKING SYSTEM

*Botov M.E.*

*Don State Technical University, Rostov-on-Don*

**Keywords:** robot, identification of kinematic parameters, optical tracking system; calibration of kinematic parameters, improving robot accuracy, calibration system.

**Abstract.** Robot positioning accuracy plays an important role in industrial automation. This paper investigates the existing methods to improve the accuracy of the robot, and proposes a method with an optical tracking system that incorporates a numerical least-squares algorithm to identify the kinematic parameters, and designs a configuration and integration scheme for the system in the robot.

Промышленные роботы широко применяются для автоматизации крупносерийного производства благодаря хорошей повторяемости задач. В обычном сценарии использования этих машин человек-оператор обучает робота перемещению в нужное положение, робот фиксирует это положение и затем повторяет пройденный путь для выполнения задачи. Однако обучение робота обычно занимает много времени при небольших объемах работ. Хотя автономное программирование может значительно сократить объем работы по обучению роботов, генерируемые траектории движения робота основаны на его номинальной кинематической модели, поэтому успешное выполнение роботом задачи с помощью автономного программирования зависит от его абсолютной точности. Производители роботов указывают номинальные значения параметров робота, однако фактические значения этих параметров могут отклоняться от номинальных из-за ошибок при изготовлении, сборке и т. д., что, соответственно, приводит к ошибкам позиционирования конечного элемента робота. В результате абсолютная точность промышленных роботов относительно низка по сравнению со многими другими типами производственного оборудования, например, станками с ЧПУ [1]. Для повышения точности используют кинематическую калибровку [2]. Существует два типа методов калибровки, основанных на методах измерения. Один из них – калибровка с открытым контуром, при

которой измеряется абсолютное положение и ориентация конечного вектора робота; другой – калибровка с замкнутым контуром, при которой положение и ориентация концевой вектора измеряются относительно другой эталонной детали или калибра. Для калибровки в открытом контуре методы обычно требуют внешних метрологических систем, таких как лазерные трекары и КИМ с различными алгоритмами калибровки (среди них наиболее часто применяется метод наименьших квадратов), которые являются дорогостоящими и недостаточно гибкими для автоматизации производства [3, 4]. Для калибровки в замкнутом контуре калибровочные модели создаются с учетом различных типов кинематических ограничений, вызванных дополнительными эталонными деталями или датчиками. Кроме того, большинство методов не учитывают влияние точности позиционирования, вызванное инструментами. По этим причинам повышение абсолютной точности все еще остается узкой проблемой для робототехнических приложений в малосерийных высокоточных задачах. Для преодоления вышеуказанных проблем мы предлагаем подход к коррекции значений кинематических параметров путем измерения фактического положения концевой вектора с помощью оптической системы слежения. Этот подход объединяет оптическую систему слежения и маркер жесткого тела (с несколькими маркерными целями), установленный на концевом векторе, для онлайн компенсации ошибки позиционирования робота. Для коррекции ошибок в этих кинематических параметрах робота используется численный алгоритм наименьших квадратов. По сравнению с лазерными трекарами стоимость оптической системы слежения значительно ниже, кроме того, оптическая система слежения может одновременно измерять положение нескольких маркеров, закрепленных на измеряемом объекте, что обеспечивает хорошую видимость объекта и гибкость при интеграции в оптическую систему слежения. По сравнению с калибровкой по замкнутому контуру с помощью датчиков, оптическая система слежения удобна и легко автоматизируется для повышения эффективности калибровки.

Как показано на рисунке 1, исследуемая система состоит из серийного робота, инструмента, установленного на роботе, и оптической системы слежения. Робот может быть запрограммирован на перемещение инструмента по заданной траектории. Позиция инструмента может быть получена с помощью оптической системы слежения. Оптическая система слежения была откалибрована путем измерения объекта, установленного на КИМ. Диапазон измерений этой оптической системы слежения составляет от 2 до 5 м, как показано на рисунке 2. Точность позиционирования в диапазонах измерений от 2 до 3 м, от 3 до 4 м и от 4 до 5 м составляет 0,08 мм, 0,14 мм и 0,21 мм, соответственно. Камера и маркеры синхронизируются через беспроводную сеть 2.40 G, что позволяет маркерам работать в импульсном режиме и увеличивает соотношение сигнал-шум. В маркер встроен источник питания, а между маркером и контроллером оптической системы слежения может быть установлена беспроводная связь. Таким образом, при использовании данного подхода можно учесть влияние концевой вектора на точность робота. Кроме того, оптическая система слежения может одновременно измерять положение нескольких

маркеров, закрепленных на концевом векторе, чтобы гарантировать видимость концевого вектора системой слежения.

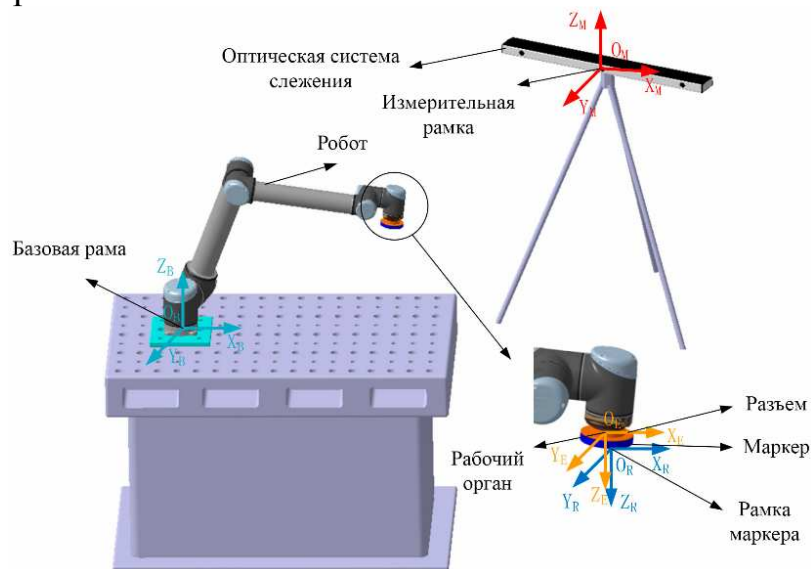


Рис. 1. Конфигурация системы калибровки робота

Помимо этого, оптический трекинг уже может обеспечить достаточную точность для задач обработки и сборки с требованием точности позиционирования около 0,30-0,50 мм. Более того, поскольку повторяемость промышленного робота среднего и крупного размера для целевых задач составляет около 0,10-0,20 мм, то повысить точность робота выше его повторяемости путем калибровки будет сложно даже с помощью лазерной системы слежения.

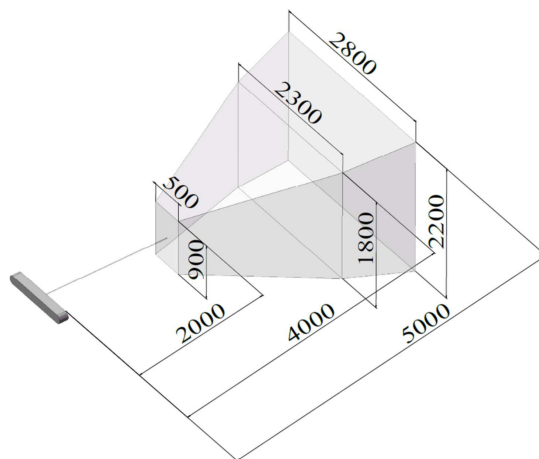


Рис. 2. Диапазон измерений оптической системы слежения, используемой в данной работе (единица измерения: мм)

Интеграция оптической системы слежения с роботом UR, используемым в данной работе, показана на рисунке 3. С помощью протокола связи TCP/IP компьютер, работающий под управлением операционной системы для роботов (ROS), может взаимодействовать с контроллером робота и отправлять команды на перемещение робота в режиме управления положением. Когда робот перемещается к серии калибровочных точек, положение и ориентация маркера жесткого тела, установленного на концевом векторе, измеряется оптической системой слежения для каждой точки, и одновременно регистрируются углы

наклона суставов робота. Затем эти данные используются для расчета фактических кинематических параметров роботизированной системы. Наконец, эти фактические параметры могут быть выведены и использованы для расчета кинематики робота для управления его движением.



Рис. 3. Схема интеграции системы

Вышеописанная процедура может быть выполнена без участия человека, что обеспечивает возможность автономной калибровки инструмента, установленного на роботе.

#### Список литературы

1. Lin Y., Zhao H., Ding H. Posture optimization methodology of 6r industrial robots for machining using performance evaluation indexes // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2017, vol. 48, pp. 59-72.
2. Judd R.P., Knasinski A.B. A technique to calibrate industrial robots with experimental verification // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1990, vol. 6, pp. 20-30.
3. Nguyen H.N., Zhou J., Kang H.J. A calibration method for enhancing robot accuracy through integration of an extended Kalman filter algorithm and an artificial neural network // Neurocomputing. 2015, vol. 151, pp. 996-1005.
4. Nubiola A., Bonev I.A. Absolute calibration of an ABB IRB 1600 robot using a laser tracker // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2013, vol. 29, pp. 236-245.

#### Сведения об авторе:

*Ботов Михаил Евгеньевич* – студент.